

ПОВЫШЕНИЕ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ РАЗРУШАЮЩИХСЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ

К предохранительным устройствам, защищающим металлургическое оборудование от поломок, предъявляют ряд специфических требований, важнейшим из которых является стабильность величины включающей нагрузки (то есть усилия или момента, при которых срабатывает предохранительное устройство).

Чаще всего на практике применяются предохранители с разрушающимися элементами, так как именно они отличаются наибольшей простотой и технологичностью. Однако точность срабатывания их довольно низка.

Стабильность выключающего усилия зависит от колебаний прочностных характеристик материала разрушаемого элемента, отклонений в размерах этого элемента и других деталей предохранителя, усталостных явлений в разрушаемых элементах [1]. Первые два фактора достаточно изучены. Их влияние приводит к разбросу в 5...20 % и может быть существенно снижено простыми мерами профилактики или ужесточением допусков.

Что касается усталостных явлений, то их влияние гораздо существенней, причем изменение выключающей нагрузки происходит всегда в сторону ее уменьшения. Если в начале работы предохранителя его прочность определяется пределом прочности материала σ_b , то в конце срока службы -

пределом выносливости σ_r . Для симметричного цикла нагружения это будет

σ_{-1} , а для пульсирующего - σ_0 . Последний является самым распространенным для металлургических машин. Таким образом,

разрушающая нагрузка снижается в $\frac{\sigma_b}{\sigma_{-1}} \approx 2,2...2,5$ раза или в

$\frac{\sigma_b}{\sigma_0} \approx 1,5...1,8$ раза. Причем это в идеальном варианте, когда

разрушающийся элемент не отличается по размерам и состоянию поверхности от стандартного образца. На самом деле отношение разрушающих нагрузок (в статике и при явлениях усталости) будет еще большим, что делает работу таких устройств неэффективной.

На практике это означает, что после 5... 10 дней эксплуатации наступает разрушение предохранительной детали от усталости при обычных технологических нагрузках.

Известны несколько путей борьбы с усталостными разрушениями. Первый, иногда применяемый на практике, - профилактическая замена предохранительной детали после 3...5 дней эксплуатации [2]. Этот вариант требует дополнительных затрат времени и средств и не применяется для крупных деталей. Второй путь связан с повышением усталостной прочности за счет уменьшения концентрации напряжений, улучшения качества поверхности, подбора соответствующего материала [3]. Третий, наиболее эффективный путь - это изменение характера нагружения (изменение коэффициента асимметрии цикла).

Известны отдельные попытки изменить нагрузки в машине путем амортизации ударного нагружения. Этот путь сложен для реализации. Во всяком случае, реально снизить динамические нагрузки в главной линии

прокатного стана ничуть не легче, чем установить на этом же стане предохранительные устройства.

Более перспективен путь изменения нагрузки не во всей главной линии стана, а только на предохранительном элементе. Это возможно в случае, если предохранительное устройство представляет собой предварительно напряженную пару, причем одним из элементов (меньшей жесткости) является

разрушаемый элемент. Пара предварительно нагружена усилием R_{Π} , при

этом в разрушаемом элементе возникает напряжение σ_{Π} . При внешнем

воздействии на такой элемент пульсирующим циклом $\sigma_{\min} = 0$;

$\sigma_{\max} = \sigma_{\text{в}}$ он будет нагружен циклом $\sigma_{\min} = \sigma_{\Pi}$;

$\sigma_{\max} = \sigma_{\text{в}}$. Это меняет коэффициент асимметрии и увеличивает запас усталостной прочности, который можно определить по известным формулам [4]:

$$n_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{\sigma_{\alpha} \cdot K_{\sigma}}{K_d \cdot K_F} + \psi_{\sigma} \cdot \sigma_m} \quad \text{или}$$

$$n_{\tau} = \frac{\tau_{-1}}{\frac{\tau_{\alpha} \cdot K_{\tau}}{K_d \cdot K_F} + \psi_{\tau} \cdot \tau_m},$$

где σ_{α} и τ_{α} - амплитуды переменных составляющих циклов напряжений;

σ_m и τ_m - постоянные составляющие;

ψ_{σ} и ψ_{τ} - коэффициенты, корректирующие влияние постоянной составляющей цикла напряжений на сопротивление усталости;

K_d - масштабный фактор;

K_F - фактор шероховатости;

σ_{-1} и τ_{-1} - пределы выносливости;

K_{σ} и K_{τ} - эффективные коэффициенты концентрации напряжений при изгибе и кручении.

В идеальном варианте, когда отсутствует концентрация напряжений, размер разрушающейся детали невелик, а качество поверхности хорошее [4] (например, разрывной болт предохранительной коробки), можно считать, что:

$$K_{\sigma} = 1,0; \quad K_d = 1,0; \quad K_F = 1,0; \quad \psi_{\sigma} = 0,1;$$

$$\sigma_{-1} \approx 0,4 \cdot \sigma_{\text{в}}.$$

Для разрушающейся детали $n_{\sigma} = 1,0$. Получаем:

$$0,4 \cdot \sigma_B = \frac{\sigma_B - \sigma_{\Pi}}{2} + 0,1 \frac{\sigma_B + \sigma_{\Pi}}{2},$$

или $\sigma_{\Pi} \approx 0,3 \cdot \sigma_B$, что легко реализуется на практике.

Допустим теперь, что речь идет о брехшпинделе, самым распространенным материалом для которого является сталь 35Л [5]:

$$\psi_{\tau} = 0,05; K_{\tau} = 1,4; K_d = 0,6; K_F = 0,8; \tau_m = \frac{\tau_B + \tau_{\Pi}}{2};$$

$$\tau_{\alpha} = \frac{\tau_B - \tau_{\Pi}}{2}.$$

Нас удовлетворяет $n_{\tau} = 1,0$. Тогда:

$$\tau_{-1} = \frac{\tau_B - \tau_{\Pi}}{2} \cdot \frac{1,4}{0,8 \cdot 0,6} + 0,05 \frac{\tau_B + \tau_{\Pi}}{2}.$$

Принимая $\tau_{-1} \approx 0,5 \cdot \tau_B$ и решая полученное уравнение относительно τ_{Π} , получим $\tau_{\Pi} \approx 0,7 \cdot \tau_B$.

Если удастся конструктивно решить проблему создания предварительно напряженной пары с одним из элементов, содержащим разрушаемую деталь, то задача повышения усталостной прочности разрушающихся элементов предохранителей будет окончательно решена.

Перечень ссылок

1. Артюх В.Г. Повышение точности срабатывания предохранителей с разрушающимися элементами // 3 регион. науч. - техн. конф. Тез. докл. - Мариуполь, 1995 - С.38.
2. Профилактическая замена срезных пальцев предохраняющих муфт прокатных станов/ Крисанов А.Ф., Шведченко А.А., Кольницкий В.А. и др. // Сталь. - 1968. - №9. - С. 824-825.
3. Морозов Б. А., Ефимов А. С. Рациональная конструкция срезных шпилек предохранительных муфт // Вестник машиностр. - 1966. - №6. - С.26-28.
4. Иванов М.Н. Детали машин. - М.: Высшая школа, 1991. - 383 с.
5. Увеличение срока службы отдельных узлов оборудования пилигримового стана/ Пожоровский Ю.В., Гетия И.Г., Ложка В.З. и др. // Металлург. -1973. - № 8. - С.29-30.